

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **11084158 A**(43) Date of publication of application: **26 . 03 . 99**

JC962 U.S. PTO
09/783527
02/15/01

(51) Int. Cl.

G02B 6/18
H04B 10/02
H04B 10/18

(21) Application number: **09262803**(22) Date of filing: **10 . 09 . 97**(71) Applicant: **FURUKAWA ELECTRIC CO LTD:THE**(72) Inventor: **MUKASA KAZUNORI**

(54) **OPTICAL TRANSMISSION LINK FOR
WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEX
TRANSMISSION AND OPTICAL FIBER
CONSTITUTING THE LINK**

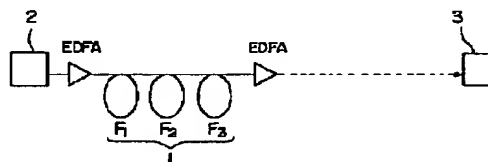
suppressed by setting the absolute value of the dispersion in all the point positions in the longitudinal direction of the light transmission link 1 at ≈ 0.5 ps/nm/km.

(57) Abstract:

COPYRIGHT: (C)1999,JPO

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a light transmission link suitable for high-speed large-capacity wavelength division multiplex light transmission.

SOLUTION: This light transmission link 1 comprises an optical fiber F_1 for nonlinear decreasing, a dispersion adjustment transmission optical fiber F_2 and an optical fiber F_3 for dispersion slope decreasing adjustment. The optical fiber F_1 for nonlinear decreasing adjusts a mode field diameter to $\approx 12 \mu\text{m}$. The dispersion adjustment transmission optical fiber F_2 adjusts the mode field diameter to $\approx 10 \mu\text{m}$ and adjusts the dispersion generated in the optical fiber F_1 for nonlinear decreasing by reducing a dispersion slope as small as nearly zero. The optical fiber F_3 for dispersion slope decreasing adjustment adjusts the dispersion slope over the entire part of the light transmission link 1 to nearly zero. The profiles of the refractive index distributions of F_1 and F_2 are formed as a segment core type. The profile of the refractive index distribution of the optical fiber F_3 for dispersion slope decreasing adjustment is made as a W type. The generation of four light wave mixing is



1

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 11 - 8 4 1 5 8

(43) 公開日 平成 11 年 (1999) 3 月 26 日

(51) Int. Cl. ⁶

識別記号

F I

G 0 2 B 6/18

G 0 2 B 6/18

H 0 4 B 10/02

H 0 4 B 9/00

M

10/18

審査請求 未請求 請求項の数 6

F D

(全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平 9 - 262803

(22) 出願日 平成 9 年 (1997) 9 月 10 日

(71) 出願人 000005290

古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号

(72) 発明者 武笠 和則

東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号 古河

電気工業株式会社内

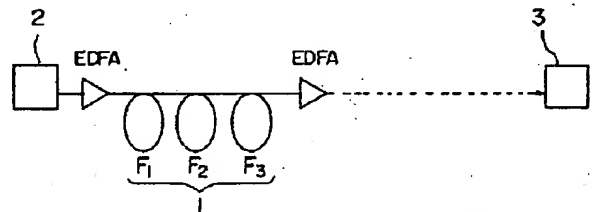
(74) 代理人 弁理士 五十嵐 清

(54) 【発明の名称】 波長分割多重伝送用の光伝送リンクおよびそのリンクを構成する光ファイバ

(57) 【要約】

【課題】 高速大容量波長分割多重光伝送に適した光伝送リンクを提供する。

【解決手段】 光伝送リンク 1 を非線形低減用光ファイバ F_1 と分散調整伝送光ファイバ F_2 と分散スロープ低減調整用光ファイバ F_3 とで構成する。非線形低減用光ファイバ F_1 はモードフィールド径を $12\mu\text{m}$ 以上にする。分散調整伝送光ファイバ F_2 はモードフィールド径を $10\mu\text{m}$ 以上にし、分散スロープをほぼ零に小さくし、非線形低減用光ファイバ F_1 で発生した分散を小さく調整する。分散スロープ低減調整用光ファイバは光伝送リンク 1 の全体の分散スロープをほぼ零に調整する。ファイバ F_1 と F_2 の屈折率分布のプロファイルはセグメントコア型とし、分散スロープ低減調整用光ファイバ F_3 の屈折率分布のプロファイルは W 型とする。光伝送リンク 1 の長さ方向のあらゆる点位置で分散の絶対値を 0.5p s/nm/km 以上にして 4 光波混合の発生を抑制する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 使用波長帯での分散が小さく調整された分散調整伝送光ファイバの前に該分散調整伝送光ファイバのモードフィールド径よりも大きなモードフィールド径を持って信号伝送の非線形を低減する非線形低減用光ファイバが接続され、前記分散調整伝送光ファイバの後には光ファイバ接続線路全体の平均分散スロープを低減するための分散スロープ低減調整用光ファイバが接続されて成る波長分割多重伝送用の光伝送リンク。

【請求項2】 波長 $1.55\mu\text{m}$ における光ファイバ接続線路全体の分散値 σ が、 $-0.1\text{ps/nm/km} < \sigma < 0.1\text{ps/nm/km}$ の範囲に調整され、かつ、光ファイバ接続線路の長さ方向のあらゆる点位置部分のファイバ固有の正又は負の分散値が絶対値の値で 0.5ps/nm/km 以上となるように形成されている請求項1記載の波長分割多重伝送用の光伝送リンク。

【請求項3】 分散調整伝送光ファイバはほぼ $-0.5 \sim -3.5\text{ps/nm/km}$ の負の微小分散とほぼ $10\mu\text{m}$ 以上のモードフィールド径を持ち、非線形低減用光ファイバのモードフィールド径はほぼ $12\mu\text{m}$ 以上に設定され、分散スロープ低減調整用光ファイバは波長 $1.55\mu\text{m}$ で負の分散スロープを有する分散スロープ補償光ファイバにより構成され、波長 $1.55\mu\text{m}$ における光ファイバ接続線路全体の分散スロープがほぼ零に調整されている請求項1又は請求項2記載の波長分割多重伝送用の光伝送リンク。

【請求項4】 分散調整伝送光ファイバはほぼ $-0.5 \sim -3.5\text{ps/nm/km}$ の負の微小分散とほぼ $10\mu\text{m}$ 以上のモードフィールド径を持ち、非線形低減用光ファイバのモードフィールド径はほぼ $12\mu\text{m}$ 以上に設定され、分散スロープ低減調整用光ファイバは波長 $1.55\mu\text{m}$ でほぼ零の分散スロープを有する分散フラット光ファイバにより構成され、波長 $1.55\mu\text{m}$ における光ファイバ接続線路全体の平均の分散スロープが $0.08\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 以下に調整されている請求項1又は請求項2記載の波長分割多重伝送用の光伝送リンク。

【請求項5】 請求項1乃至請求項4のいずれか1つの波長分割多重伝送用の光伝送リンクに使用される非線形低減用光ファイバであって、該光ファイバは、センタコアと、該センタコアの周りを囲んで配置され該センタコアよりも屈折率の小さいシリカレベルの屈折率を持つ第1のサイドコアと、該第1のサイドコアの周りを囲んで配置され該第1のサイドコアよりは屈折率が大きくセンタコアよりは屈折率の小さいゲルマニウムがドーピングされた第2のサイドコアと、該第2のサイドコアの周りを囲んで配置されシリカレベルの屈折率を持つクラッドとを有し、屈折率分布の形状を表す α 定数が $1.7 \sim 2.5$ の範囲の値を持つセグメントコア型の屈折率分布プロファイルを呈し、前記センタコアのシリカレベルに対する比屈折率差 Δ_1 が $0.9 \sim 1.2\%$ 、第2のサイドコアのシリカレベルに対する比屈折率差 Δ_2 が $0.15 \sim 0.35\%$ 、セン

タコアの径 a_1 に対する第1のサイドコアの径 a_2 の比 a_2/a_1 が $2.0 \sim 2.8$ 、センタコアの径 a_1 に対する第2のサイドコアの径 a_3 の比 a_3/a_1 が $2.6 \sim 3.4$ のそれぞれの範囲に設定され、波長 $1.55\mu\text{m}$ での分散値 σ が $8\text{ps/nm/km} < \sigma < 15\text{ps/nm/km}$ の範囲に設定され、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯での分散スロープは $0.09\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 以下に設定され、波長 $1.55\mu\text{m}$ でのモードフィールド径が $12\mu\text{m}$ 以上に設定されている非線形低減用光ファイバ。

【請求項6】 請求項1乃至請求項4のいずれか1つの波長分割多重伝送用の光伝送リンクに使用される分散調整伝送光ファイバであって、該光ファイバは、センタコアと、該センタコアの周りを囲んで配置され該センタコアよりも屈折率の小さいシリカレベルの屈折率を持つ第1のサイドコアと、該第1のサイドコアの周りを囲んで配置され該第1のサイドコアよりは屈折率が大きくセンタコアよりは屈折率の小さいゲルマニウムがドーピングされた第2のサイドコアと、該第2のサイドコアの周りを囲んで配置されシリカレベルの屈折率を持つクラッドとを有し、屈折率分布の形状を表す α 定数が $3.0 \sim 3.8$ の範囲の値を持つセグメントコア型の屈折率分布プロファイルを呈し、前記センタコアのシリカレベルに対する比屈折率差 Δ_1 が $1.1 \sim 1.5\%$ 、第2のサイドコアのシリカレベルに対する比屈折率差 Δ_2 が $0.23 \sim 0.46\%$ 、センタコアの径 a_1 に対する第1のサイドコア径 a_2 の比 a_2/a_1 が $1.8 \sim 2.7$ 、センタコアの径 a_1 に対する第2のサイドコア径 a_3 の比 a_3/a_1 が $2.5 \sim 3.3$ のそれぞれの範囲に設定され、波長 $1.55\mu\text{m}$ での分散値 σ が $-3.5\text{ps/nm/km} < \sigma < -0.5\text{ps/nm/km}$ の範囲に設定され、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯での分散スロープは $0.120\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 以下に設定され、波長 $1.55\mu\text{m}$ でのモードフィールド径は $10\mu\text{m}$ 以上に設定されている分散調整伝送光ファイバ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、特に、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯での零分散波長分割多重(WDM)光伝送に適した光伝送リンクとそのリンクを構成する光ファイバに関するものである。

【0002】

【従来の技術】情報社会の発展により、通信情報量が飛躍的に増大する傾向にあり、このような情報の増大に伴い、波長分割多重(WDM)伝送が光通信分野に広く受け入れられ、今や波長分割多重伝送の時代を迎えている。波長分割多重伝送は、光通信の波長が一波長でなく、複数の波長に分割して複数の光信号を送送する方式であり、大容量高速通信に適した光伝送方式である。

【0003】しかしながら、複数の光信号を波長分割多重伝送により通信を行う場合、非線形現象が新たな解決すべき課題として検討されている。非線形現象は伝送す

る光信号に波形の歪みをもたらし、波長分割多重による高速大容量光伝送を阻害する要因となる。

【0004】この非線形現象の解決の研究としては、1996年の電子情報通信学会秋季大会のC-176等の報告で、非線形屈折率 n_2 を抑えて非線形現象を抑制することの報告がなされており、また、非線形現象を抑制する手法として、分散シフト光ファイバのモードフィールド径(MFD)を大きくすることが注目されており、例えば、特開平8-30106号公報には、屈折率分布をセグメント型とした分散シフト光ファイバにおいて、モードフィールド径を $10\mu\text{m}$ 以上に達成した旨の開示がなされている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、モードフィールド径を大きくすると、分散スロープが大きくなるため、波長分割多重光伝送を行うと、各波長間に分散の格差が生じてしまうため、光信号の伝送品質が低下し、高速大容量光伝送を行う上で支障になるという問題が生じる。

【0006】一方、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯での分散スロープ(分散勾配)の平坦化を達成するために、波長が $1.31\mu\text{m}$ に零分散を持つ $1.31\mu\text{m}$ 零分散通常シングルモード光ファイバに接続する分散補償光ファイバの最適構造に関する検討が盛んに行われている。例えば、特開平8-136758号公報には、分散および分散スロープの補償を考慮した分散補償光ファイバの最適設計に関する知見が示されている。しかしながら、分散補償光ファイバは一般に高い非線形性を有しており、この非線形現象による波形の歪みが問題になる。

【0007】最近においては、光伝送時の信号増幅にエルビウムドープ光ファイバを用いた光増幅器が用いられており、この光増幅器の利得帯域は波長が $1.55\mu\text{m}$ 帯であることから、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯での高速大容量伝送の時代に突入し、この波長帯における波長分割多重伝送路の低非線形性を実現することが大きな課題となっており、その検討が盛んに行われているが、現在の段階では、非線形性を低くすると分散スロープが大きくなり、その逆に、分散スロープを小さくすると非線形現象が顕著になる等、分散スロープを小さく平坦化し、かつ、低非線形性を実現した光伝送路は実現していない。

【0008】本発明は上記課題を達成するためになされたものであり、その目的は、特に、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯で、分散スロープを小さく平坦化するにも拘わらず低非線形性を実現し、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯での零分散波長分割多重光伝送に適した光伝送リンクとそのリンクを構成する光ファイバを提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明は上記目的を達成するために、次のような手段を講じている。すなわち、

し、使用波長帯での分散が小さく調整された分散調整伝送光ファイバの前に該分散調整伝送光ファイバのモードフィールド径よりも大きなモードフィールド径を持って信号伝送の非線形性を低減する非線形低減用光ファイバが接続され、前記分散調整伝送光ファイバの後には光ファイバ接続線路全体の平均分散スロープを低減するための分散スロープ低減調整用光ファイバが接続されて成る構成をもって課題を解決する手段としている。

【0010】また、第2の発明は、前記第1の発明の構成を備えたものにおいて、波長 $1.55\mu\text{m}$ における光ファイバ接続線路全体の分散値 σ が、 $-0.1\text{ps/nm/km} < \sigma < 0.1\text{ps/nm/km}$ の範囲に調整され、かつ、光ファイバ接続線路の長さ方向のあらゆる点位置部分のファイバ固有の正又は負の分散値が絶対値の値で 0.5ps/nm/km 以上となるように形成されている構成をもって課題を解決する手段としている。

【0011】さらに第3の発明は、前記第1又は第2の発明の構成を備えたものにおいて、分散調整伝送光ファイバはほぼ $-0.5 \sim -3.5\text{ps/nm/km}$ の負の微小分散とほぼ $10\mu\text{m}$ 以上のモードフィールド径を持ち、非線形低減用光ファイバのモードフィールド径はほぼ $12\mu\text{m}$ 以上に設定され、分散スロープ低減調整用光ファイバは波長 $1.55\mu\text{m}$ で負の分散スロープを有する分散スロープ補償光ファイバにより構成され、波長 $1.55\mu\text{m}$ における光ファイバ接続線路全体の分散スロープがほぼ零に調整されている構成をもって課題を解決する手段としている。

【0012】さらに第4の発明は、前記第1又は第2の発明の構成を備えたものにおいて、分散調整伝送光ファイバはほぼ $-0.5 \sim -3.5\text{ps/nm/km}$ の負の微小分散とほぼ $10\mu\text{m}$ 以上のモードフィールド径を持ち、非線形低減用光ファイバのモードフィールド径はほぼ $12\mu\text{m}$ 以上に設定され、分散スロープ低減調整用光ファイバは波長 $1.55\mu\text{m}$ でほぼ零の分散スロープを有する分散フラット光ファイバにより構成され、波長 $1.55\mu\text{m}$ における光ファイバ接続線路全体の平均の分散スロープが $0.08\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 以下に調整されている構成をもって課題を解決する手段としている。

【0013】さらに第5の発明は、前記第1乃至第4のいずれか1つの発明の波長分割多重伝送用の光伝送リンクに使用される非線形低減用光ファイバであって、該光ファイバは、センタコアと、該センタコアの周りを囲んで配置され該センタコアよりも屈折率の小さいシリカレベルの屈折率を持つ第1のサイドコアと、該第1のサイドコアの周りを囲んで配置され該第1のサイドコアよりは屈折率が大きくセンタコアよりは屈折率の小さいゲルマニウムがドープされた第2のサイドコアと、該第2のサイドコアの周りを囲んで配置されシリカレベルの屈折率を持つクラッドとを有し、屈折率分布の形状を表す α 定数が $1.7 \sim 2.5$ の範囲の値を持つセグメントコア型の

カレベルに対する比屈折率差 Δ_+ が0.9~1.2%、第2のサイドコアのシリカレベルに対する比屈折率差 Δ_{seg} が0.15~0.35%、センタコアの径 a_1 に対する第1のサイドコアの径 a_2 の比 a_2/a_1 が2.0~2.8、センタコアの径 a_1 に対する第2のサイドコアの径 a_3 の比 a_3/a_1 が2.6~3.4のそれぞれの範囲に設定され、波長1.55 μm での分散値 σ が $8\text{ps/nm/km} < \sigma < 15\text{ps/nm/km}$ の範囲に設定され、波長1.55 μm 帯での分散スロープは $0.09\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 以下に設定され、波長1.55 μm でのモードフィールド径が12 μm 以上に設定されている構成をもって課題を解決する手段としている。

【0014】さらに第6の発明は、前記第1乃至第4のいずれか1つの発明の波長分割多重伝送用の光伝送リンクに使用される分散調整伝送光ファイバであって、該光ファイバは、センタコアと、該センタコアの周りを囲んで配置され該センタコアよりも屈折率の小さいシリカレベルの屈折率を持つ第1のサイドコアと、該第1のサイドコアの周りを囲んで配置され該第1のサイドコアよりは屈折率が大きくセンタコアよりは屈折率の小さいゲルマニウムがドーピングされた第2のサイドコアと、該第2のサイドコアの周りを囲んで配置されシリカレベルの屈折率を持つクラッドとを有し、屈折率分布の形状を表す α 定数が3.0~3.8の範囲の値を持つセグメントコア型の屈折率分布プロファイルを呈し、前記センタコアのシリカレベルに対する比屈折率差 Δ_+ が1.1~1.5%、第2のサイドコアのシリカレベルに対する比屈折率差 Δ_{seg} が0.23~0.46%、センタコアの径 a_1 に対する第1のサイドコア径 a_2 の比 a_2/a_1 が1.8~2.7、センタコアの径 a_1 に対する第2のサイドコア径 a_3 の比 a_3/a_1 が2.5~3.3のそれぞれの範囲に設定され、波長1.55 μm での分散値 σ が $-3.5\text{ps/nm/km} < \sigma < -0.5\text{ps/nm/km}$ の範囲に設定され、波長1.55 μm 帯での分散スロープは $0.120\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 以下に設定され、波長1.55 μm でのモードフィールド径は10 μm 以上に設定されている構成をもって課題を解決する手段としている。

【0015】上記構成の本発明においては、光伝送の信号は光伝送リンクの非線形低減用光ファイバ側から入射するが、この非線形低減用光ファイバはモードフィールド径が大きく設定されているので、入射光の光強度が高くても非線形現象を生じることなく光信号を次の分散調整伝送光ファイバに伝搬する。

【0016】この分散調整伝送光ファイバは伝送する光信号の分散を小さい値に調整する。そして、この分散が小さく調整された光信号は次の分散スロープ低減調整用光ファイバに入射し、分散スロープがほぼ零（零を含む）に低減調整されて分散スロープ低減調整用光ファイバの終端から出射する。

【0017】本発明では、前記の如く、光信号が最初に入射する光強度の高い信号を非線形低減用光ファイバに送ることで、非線形現象の発生を抑制し、次の分散調整

伝送光ファイバでは引き続き非線形現象の発生を抑制しつつ分散を小さく調整し、最後の分散スロープ低減調整用光ファイバで分散スロープがほぼ零に調整されることで、本発明の光伝送リンクから出射する光は非線形現象の発生が抑制されて、分散スロープがほぼ零（零を含む）に平坦化された零分散の信号となり、波長分割多重の高速大容量光伝送を行う上で理想的な光伝送路が構築されるものである。

【0018】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態例を図面に基づき説明する。図1には本発明に係る波長分割多重伝送用の光伝送リンクの一実施形態例が示されている。この実施形態例の光伝送リンク1は入射側から出射側に向けて順次非線形低減用光ファイバ F_1 と分散調整伝送光ファイバ F_2 と分散スロープ低減調整用光ファイバ F_3 を直列に接続して成り、この光伝送リンク1はエルビウムドープ光ファイバを用いた光増幅器EDFAを介して送信局2と受信局3間に敷設されるものである。

【0019】この光伝送リンク1の非線形低減用光ファイバ F_1 は正の比較的大きな分散と大きなモードフィールド径MFDを持ち、光増幅器EDFAを介して送信局2から入射される光信号の非線形を低減する機能を有する。

【0020】分散調整伝送光ファイバ F_2 は負の小さな分散を持ち、前記非線形低減用光ファイバ F_1 で生じた正の分散を非線形の発生を抑制しながら低減調整する機能を有する。また、分散スロープ低減調整用光ファイバ F_3 は出力端側で分散スロープがほぼ零（零を含む）になるように分散スロープの調整を行う機能を有する。

【0021】本実施形態例の光伝送リンク1は波長1.55 μm 帯での波長分割多重光伝送に最適の構造を備えたもので、光伝送リンク1全体の分散値 σ が $-0.1\text{ps/nm/km} < \sigma < 0.1\text{ps/nm/km}$ の範囲に設定され、かつ、光ファイバ F_1 、 F_2 、 F_3 の光ファイバ接続線路である、光伝送リンク1の長さ方向のあらゆる点位置部分のファイバ固有の正又は負の分散値が絶対値の値で 0.5ps/nm/km 以上となるように設定され、さらに、光ファイバ接続線路全体の平均のモードフィールド径、つまり、光伝送リンク1の平均のモードフィールド径が10 μm 以上となるように調整されている。

【0022】前記非線形低減用光ファイバ F_1 と分散調整伝送光ファイバ F_2 は共に図2に示すようなセグメントコア型の屈折率分布のプロファイルを呈しており、また、分散スロープ低減調整用光ファイバ F_3 は図3に示すようなW型屈折率分布のプロファイルを有している。

【0023】図2に示すセグメントコア型のプロファイルは、センタコア4の周りを囲んで屈折率がシリカレベルの第1のサイドコア5が形成され、その第1のサイドコア5の外側に、該第1のサイドコアの周りを囲んで第2のサイドコア6が設けられ、その第2のサイドコア6

の外側に、該第2のサイドコア6の周りを囲んでシリカレベルの屈折率を有するクラッド7が配されている。センタコア4と第2のサイドコア6はシリカをベースとする材料にゲルマニウムGeがドーブされて屈折率が第1のサイドコア5およびクラッド7のシリカレベルよりも高くなっており、第2のサイドコア6よりもセンタコア4のゲルマニウムのドーブ量を大きくすることで、センタコア4の屈折率は第2のサイドコア6の屈折率よりも高く形成されている。なお、図2中、a1はセンタコア4の径(直径)を示し、a2は第1のサイドコア5の径(直径)を示し、a3は第2のサイドコア6の径(直径)を示している。

【0024】また、図3に示すW型の屈折率分布は、センタコア4の外側に、該センタコア4の周りを囲んで第1のサイドコア5'が形成され、その第1のサイドコア*

$$\Delta_+ = \{ (n_c^2 - n_L^2) / 2 n_c^2 \} \times 100 \dots \dots (1)$$

【0028】また、シリカレベルに対する第2のサイドコア6の比屈折率差 Δ_{seg} は(2)式により定義してい※

$$\Delta_{seg} = \{ (n_s^2 - n_L^2) / 2 n_s^2 \} \times 100 \dots \dots (2)$$

【0030】次に、本実施形態例における光伝送リンク1を構成する各光ファイバの構造について説明する。光伝送リンク1の入射側に配置される非線形低減用光ファイバF₁は、光伝送の非線形の低減を実現する構造に形★

$$\phi_{nl} = (2\pi \times n_2 \times L_{eff} \times P) / (\lambda \times A_{eff}) \dots \dots (3)$$

【0032】この(3)式で、 n_2 は非線形屈折率、 L_{eff} は光ファイバの実効長、 P は入力パワー、 λ は波長、 A_{eff} は実効コア断面積である。

【0033】前記(3)式から明らかな如く、実効コア断面積 A_{eff} を大きくすることにより非線形現象による信号の歪み ϕ_{nl} を小さくすることができる。実効コア断面積 A_{eff} は、係数をKとして $A_{eff} = K \times (MFD)^2$ の式として表すことができるので、モードフィールド径MFDを大きくすることにより、低非線形性が達成できることが分かる。

【0034】しかし、単にモードフィールド径(MFD)を大きくしただけでは、分散スロープが大きくなってしまい、波長分割多重伝送用の光線路としては実用的ではなくなってしまう。そこで、本発明者は、非線形低減用光ファイバF₁として、図2に示すセグメントコア型の屈折率分布のプロファイルを持つ分散シフト光ファイバの構造を基本構造とし、センタコア4と第2のサイドコア6の屈折率や、屈折率分布のプロファイルの形状を定める α 定数を変化させ、さらにセンタコア4の径a1と第1のサイドコア5の径a2と第2のサイドコア6の径a3との比を種々変化させたときのシミュレーションから、モードフィールド径を非線形現象を十分低減可能な12 μ m以上を確保し、かつ、分散スロープを波長1.55 μ mで0.1ps/nm²/km以下に十分小さくすることが可能な条件を究明した。この条件の究明に際しては、モ

*5'の外側にシリカレベルの屈折率を持つクラッド7を配したものである。

【0025】このW型屈折率プロファイルでは、センタコア4はシリカをベースとした材料にゲルマニウムがドーブされることで屈折率がクラッド7よりも高く形成されており、また、第1のサイドコア5'はシリカをベースとする材料にフッ素Fがドーブされることで、シリカレベルのクラッド7よりも屈折率が低く形成されている。

【0026】本明細書では、図2に示すプロファイルにおいて、シリカレベルの屈折率を n_L 、第2のサイドコア6の屈折率を n_s 、センタコア1の屈折率を n_c としたとき、シリカレベルに対するセンタコア1の比屈折率差 Δ_+ は、次の(1)式により定義している。

【0027】

※。

【0029】

20★成される。一般に、光信号の非線形現象による歪み ϕ_{nl} は次の(3)式により表される。

【0031】

散を共に小さくすることは困難であるので、この実施形態例では分散を犠牲にして分散を正に大きくし、その状態でモードフィールド径を大きく、かつ、分散スロープを十分小さくできる条件を求めた。

【0035】その結果、 α 定数を1.7~2.5とし、センタコア4のシリカレベルに対する比屈折率差 Δ_+ を0.9~1.2%、第2のサイドコア6のシリカレベルに対する比屈折率差 Δ_{seg} を0.15~0.35%、センタコア4の径a1に対する第1のサイドコア5の径a2の比a2/a1を2.0~2.8、センタコア4の径a1に対する第2のサイドコア6の径a3の比a3/a1を2.6~3.4の範囲に設定すればよいことが究明された。この条件の下で、分散値 σ は8ps/nm/km< σ <15ps/nm/kmとなり、分散は正に比較的大きな値となるが、波長1.55 μ m帯での分散スロープは0.09ps/nm²/km以下に設定することが可能となった。

【0036】前記分散調整伝送光ファイバF₂は非線形低減用光ファイバF₁が分散を犠牲にして正の比較的大きな値を持っているので、これを小さな分散となるように分散を調整し、かつ、非線形の発生を抑制する屈折率分布のプロファイルとすることが必要であり、このため、本発明者は、この条件を満たす屈折率分布の条件をシミュレーションにより究明した。その究明に際しては、まず、前記非線形低減用光ファイバF₁の正の分散を低減調整する観点から、波長1.55 μ mで負の微小分散を有する非線形低減用光ファイバF₂の設計がなされた。

フィールド径が $10\mu\text{m}$ になる条件を究明した。具体的には、前記非線形低減用光ファイバ F_1 の究明の場合と同様に、図2のセグメントコア型の屈折率プロファイルを持つ分散シフト光ファイバの構造を基本とし、センタコア4と第2のサイドコア6の屈折率、 α 定数、径 a_1 、 a_2 、 a_3 の比を種々に変化し、まず、モードフィールド径がほぼ $10\mu\text{m}$ になる各種条件の範囲を求めた。

【0037】図4は分散スロープを変化させていったときのモードフィールド径の変化をプロットで示したものであり、分散スロープが $0.12\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下で、かつ、モードフィールド径が $10\mu\text{m}$ になる各種条件の範囲を決定した。

【0038】その結果、屈折率分布の形状を表す α 定数を $3.0\sim 3.8$ 、センタコア4のシリカレベルに対する屈折率差 Δ_1 を $1.1\sim 1.5\%$ 、第2のサイドコア6のシリカレベルに対する屈折率差 Δ_{sc2} を $0.23\sim 0.46\%$ 、センタコア4の径 a_1 に対する第1のサイドコア5の径 a_2 の比 a_2/a_1 を $1.8\sim 2.7$ 、センタコア4の径 a_1 に対する第2のサイドコア6の径 a_3 の比 a_3/a_1 を $2.5\sim 3.3$ のそれぞれの範囲に設定することで、波長 $1.55\mu\text{m}$ での分散値 σ を $-3.5\text{ps}/\text{nm}/\text{km} < \sigma < -0.5\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ の範囲に設定され、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯での分散スロープは $0.120\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下となり、波長 $1.55\mu\text{m}$ でのモードフィールド径は $10\mu\text{m}$ 以上 $12\mu\text{m}$ 以下に設定された。

【0039】分散スロープ低減調整用光ファイバ F_3 は前記図3に示すようなW型の屈折率プロファイルを持つ分散スロープ補償光ファイバあるいは分散フラット光ファイバにより構成されるもので、分散スロープ低減調整用光ファイバ F_3 を分散スロープ補償光ファイバにより構成する場合には、波長 $1.55\mu\text{m}$ における光ファイバ接続線路全体の分散スロープ、つまり、光伝送リンク1の分散スロープがほぼ零に調整可能なプロファイルを持つ光ファイバにより構成する。

【0040】また、分散スロープ低減調整用光ファイバ F_3 を分散フラット光ファイバにより構成する場合には、波長 $1.55\mu\text{m}$ における光ファイバ接続線路全体の平均の分散スロープ、つまり、光伝送リンク1の平均の分散スロープを $0.08\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下に調整可能な屈折率プロファイルのファイバにより構成される。なお、これらの条件を満たす分散スロープ補償光ファイバと分散フラット光ファイバの屈折率分布のプロファイルは既に開発されて公知であるので、その屈折率プロファイルの具体的な数値例は省略する。

【0041】本実施形態例においては、図1に示すように、送信局2側から光増幅器EDFAを介して波長分割多重伝送の光信号が光伝送リンク1に入射する。この入射光は、まず、光伝送リンク1の非線形低減用光ファイバ F_1 に入り込む。その入射信号の光の強度は、最初に光伝送リンク1に入り込むときが最も強く、前記(3)

式に示すように、入力光パワーが大きいので、非線形現象が生じる方向となるが、入射光が最初に入る非線形低減用光ファイバ F_1 はモードフィールド径が $12\mu\text{m}$ 以上（この実施形態例では $12\mu\text{m}$ ）と大きいので、非線形現象を低減抑制する効果が遙かに高く、これにより、光信号は非線形現象が低減抑制されて非線形低減用光ファイバ F_1 を伝搬する。なお、この非線形低減用光ファイバ F_1 を伝搬する光信号は、該非線形低減用光ファイバ F_1 においては、分散を犠牲にして正の分散を持たせて分散スロープを小さく設定しているのので、分散は正に大きくなるが、分散スロープは小さいので、波長分割多重伝送の各波長の分散格差は小さく抑えられた状態で次の分散調整伝送光ファイバ F_2 に入り込む。

【0042】分散調整伝送光ファイバ F_2 は前記非線形低減用光ファイバ F_1 よりもモードフィールド径が小さくなっているが、それでも、モードフィールド径は $10\mu\text{m}$ 以上（この実施形態例では $10\mu\text{m}$ ）と大きく、かつ、光強度は前記非線形低減用光ファイバ F_1 を伝搬して行くうちに弱くなっているのので、非線形現象の発生は同様に抑制される。

【0043】そして、分散調整伝送光ファイバ F_2 が負の分散を持っているので、この分散調整伝送光ファイバ F_2 を光信号が伝搬していく過程で、前記非線形低減用光ファイバ F_1 の出力端で生じる正の比較的大きな分散は低減されて小さな分散となるように調整される。

【0044】次に光信号は分散スロープ低減調整用光ファイバ F_3 に入り込む。この分散スロープ低減調整用光ファイバ F_3 のモードフィールド径は前記非線形低減用光ファイバ F_1 と分散調整伝送光ファイバ F_2 よりも小さく、非線形定数は大きくなっているが、光の強度は小さくなっているために、非線形現象が起りにくく、波長分割多重伝送の光信号は非線形現象が低減抑制された状態で光伝送リンク1全体を伝搬することとなる。また、分散スロープ低減調整用光ファイバ F_3 では、伝送波長帯の各波長間の分散スロープがほぼ零（零を含む）に調整されることで、光伝送リンク1の出力端では、非線形現象がなく、分散および分散スロープがほぼ零（零を含む）に調整された波長分割多重伝送の光信号が出射する。

【0045】特に、本実施形態例では、波長 $1.55\mu\text{m}$ における光伝送リンク1の全体の分散値 σ が $-0.1\text{ps}/\text{nm}/\text{km} < \sigma < 0.1\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ の範囲に調整され、かつ、光伝送リンク1の長さ方向のあらゆる点位置部分の正又は負の分散値の絶対値が $0.5\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上となるように形成されているので、光伝送リンク1を伝搬する光信号の分散を小さくできると共に、光伝送リンク1の長さ方向の各位置では光ファイバ固有の分散が零となる部分が生じないようにしているのので、分散が零の光ファイバを伝搬する際に生じる4光波混合（FWM）の発生を効果的に防止することが可能となるものである。

【0046】（実施例）次に、上記実施形態例のシミュレーションを元にして、実際の非線形低減用光ファイバ F_1 と分散調整伝送光ファイバ F_2 と分散スロープ低減調整用光ファイバ F_3 の試作例を示す。表1はこの試作結果の各光ファイバ F_1 、 F_2 、 F_3 の特性評価の結果＊

＊を示すものである。なお、この表1では比較のために、通常の分散シフト光ファイバ（通常DSF）のデータを比較例として示してある。

【0047】

【表1】

| ファイバ名 | F_1 | F_2 | F_3 | 通常DSF |
|---|--------|-------|--------|--------|
| プロファイル | セグメント | セグメント | W型 | 階段型 |
| コア径 [μm] | 9.9 | 10.2 | 12.5 | 15.0 |
| 1.55分散値 [$\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$] | 10.27 | -2.80 | -4.68 | 0.223 |
| 分散スロープ [$\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$] | 0.088 | 0.116 | -0.038 | 0.070 |
| 1.55MFD [μm] | 12.2 | 10.0 | 6.85 | 7.525 |
| n_2/A_{eff} [$\text{e-10}/\text{w}$] | 2.582 | 3.819 | 7.301 | 4.15 |
| 曲げロス ($\phi 20$) [dB/m] | 4.01 | 6.50 | 6.81 | 6.11 |
| カットオフ波長 [nm] | 1250.3 | 992.6 | 840.5 | 1220.0 |
| 1.55伝送ロス [dB/km] | 0.254 | 0.249 | 0.210 | 0.223 |
| PMD [ps/rkm] | 0.089 | 0.076 | 0.056 | 0.068 |

【0048】この表1中、曲げロスは、直径20mmに光ファイバを曲げたときの損失であり、PMDは偏波分散を示している。また、数値の1.55は波長1.55 μm を意味している。なお、この表1に示すデータでは、分散スロープ低減調整用光ファイバ F_3 として、分散スロープ補償光ファイバのデータを示してある。

【0049】この試作例の10kmの非線形低減用光ファイバ F_1 と23kmの分散調整伝送光ファイバ F_2 と9kmの分散スロープ低減調整用光ファイバ F_3 を接続して成る光リンク1の全体の特性評価の結果は次の表2に示してある。

【0050】

【表2】

| | |
|---------------------------------|--------|
| 1.55分散値 [ps/nm/km] | -0.091 |
| 分散スロープ [ps/nm ² /km] | 0.0768 |
| 平均1.55伝送ロス [dB/km] | 0.232 |
| 平均1.55PMD [ps/rkm] | 0.064 |

【0051】この表2のデータから明らかな如く、光伝送リンク1の波長1.55μmでの分散値は-0.091 ps/nm/kmと極めて小さな値となっており、また、分散スロープも0.0768ps/nm²/kmとほぼ零の値が得られており、波長1.55μm帯での平均伝送ロスは0.232 dB/kmと小さな値が得られ、さらに、波長1.55μmでの平均の偏波分散は0.064 ps/rkmと小さな値が得られ、波長分割多重の高速大容量通信を行う上で理想的な伝送特性を有する光リンクを提供できることを実証することができた。なお、この実施例における光伝送リンク1の線路全体の平均のモードフィールド径が10μm以上に調整されており、光伝送リンク1を伝搬する光信号の非線形現象を効果的に低減抑制されていることを確認することができた。

【0052】上記実施例では分散スロープ低減調整用光F₃として、分散スロープ補償光ファイバを用いた場合を示したが、波長1.55μmにおける光伝送リンク1の線路全体の平均の分散スロープが0.08ps/nm²/km以下に調整された分散フラット光ファイバを用いても同様な優れた効果を奏することが可能となるものである。

【0053】

【発明の効果】本発明は、光伝送リンクを非線形低減用光ファイバと分散調整伝送光ファイバと分散スロープ低減調整用光ファイバとを順に接続した光伝送線路により構成したので、使用波長帯での波長分割多重伝送の光信号を非線形現象を低減抑制し、かつ、分散と分散スロープを共に小さくして品質の高い光伝送を行うことができる波長分割多重伝送用の光伝送リンクを提供することが可能となった。

【0054】特に、使用波長を1.55μmとし、この波長1.55μmにおける光ファイバ接続線路全体の分散値σを-0.1 ps/nm/km<σ<0.1 ps/nm/kmの範囲に調整す

ることで、分散の小さい光伝送が可能となり、かつ、光ファイバ接続線路の長さ方向のあらゆる点位置部分のファイバ固有の正又は負の分散値を絶対値の値で0.5 ps/nm/kmとしたことで、分散値が零の光ファイバ部分を伝搬するときに生じる4光波混合の発生を効果的に抑制することが可能となった。さらに、光ファイバ接続線路全体の平均のモードフィールド径を10μm以上に調整することで、光信号の非線形現象の発生の抑制効果を十分に高めることが可能となった。

- 10 【0055】特に、非線形低減用光ファイバの屈折率構造を請求項5に記載した構成とし、分散調整伝送光ファイバの屈折率構造を請求項6に記載した構成とし、分散スロープ低減調整用光ファイバをW型屈折率プロファイルをもって波長1.55μmにおける光ファイバ接続線路全体の平均の分散スロープを0.08ps/nm²/km以下に調整する分散フラット光ファイバにより構成するか、あるいは波長1.55μmでの光ファイバ接続線路全体の分散スロープをほぼ零に調整する分散スロープ補償光ファイバにより構成することで、光伝送リンクを伝搬する波長1.55μm帯の波長分割多重伝送の光信号の非線形現象を効果的に低減抑制し、かつ、分散および分散スロープをほぼ零（零を含む）に小さく調整して出射でき、かつ、4光波混合の発生もなく、波長分割多重伝送を行う上で理想的な光伝送リンクおよびそのリンクを構成する光ファイバの提供が可能となり、高速大容量の波長分割多重光伝送の品質と信頼性を格段に高め、次世代の高速大容量波長分割多重伝送に十分応え得ることが可能となるものである。

【図面の簡単な説明】

- 30 【図1】本発明に係る光伝送リンクの一実施形態例を送信局2と受信局3間に敷設状態で示す説明図である。

【図2】本発明の光伝送リンク1を構成する非線形低減用光ファイバと分散調整伝送光ファイバの屈折率分布のプロファイルを示す図である。

【図3】本発明の光伝送リンクを構成する分散スロープ低減調整用光ファイバの屈折率分布のプロファイルを示す図である。

【図4】モードフィールド径と分散スロープとの関係を示すシミュレーションの図である。

- 40 【符号の説明】

1 光伝送リンク

4 センタコア

5, 5' 第1のサイドコア

6 第2のサイドコア

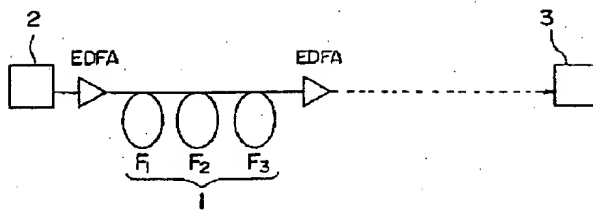
7 クラッド

F₁ 非線形低減用光ファイバ

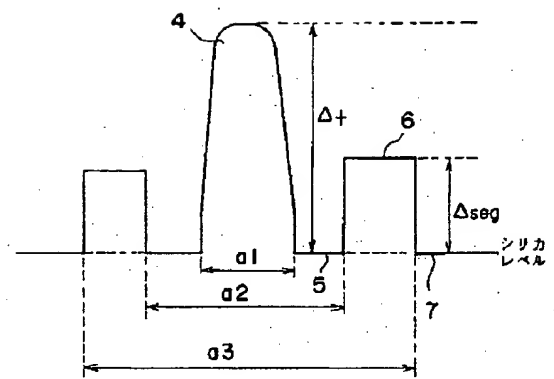
F₂ 分散調整伝送光ファイバ

F₃ 分散スロープ低減調整用光ファイバ

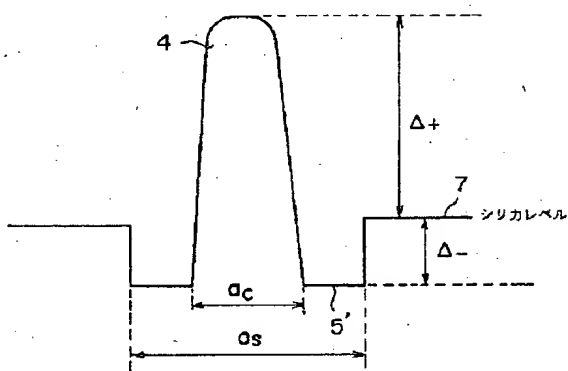
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

